УДК 612.821:11.55

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СТУДЕНТОВ

О.Г. Берестнева

Томский политехнический университет
E-mail: ogb@rambler.ru

Продемонстрирована эффективность применения регрессионных моделей для решения задачи прогнозирования интеллектуальной компетентности студентов. Рассмотрено несколько видов моделей. Показано, что учет гендерного фактора повышает качество прогностической регрессионной модели, причем наиболее эффективным является введение в модель фиктивных переменных.

Введение

Попытки предсказать реальные достижения в той или иной предметной области у взрослых людей на основе показателей психометрического интеллекта в виде величины *IQ* часто заходят в тупик. Так, результаты проспективных исследований (когда выборка обследуется с помощью психометрических тестов интеллекта задолго до того, как ее участники смогут продемонстрировать реальные интеллектуальные достижения в тех или иных профессионально ориентированных видах деятельности) показывают, что величина коэффициента корреляции уровня «общего интеллекта» (в виде показателя коэффициента интеллекта – *IQ*) с профессиональными успехами составляет около 0,30 [1].

Перенос исследований в область особенностей функционирования интеллекта в условиях обучения в высшем учебном заведении обусловил актуальность проблемы интеллектуальной компетентности (интеллектуальных ресурсов человека, обеспечивающих высокий уровень достижений в условиях его реальной, в том числе учебной деятельности). При этом возникла необходимость разрешения следующего противоречия: почему, с одной стороны, студенты с высокими показателями когнитивных способностей далеко не всегда достигают успеха в реально ориентированных видах деятельности (в иной формулировке – почему показатели психометрического интеллекта в виде *IQ* слабо "предсказывают" реальные интеллектуальные достижения) и, с другой стороны, студенты с высокой академической успеваемостью демонстрируют эффект "порога интеллекта", поскольку их *IQ*, как правило, не превышает 120 [2, 3].

В предыдущих исследованиях нами было показано, что интеллектуальная компетентность предполагает, наряду с когнитивными способностями, сформированность такого компонента метакогнитивного опыта, как непроизвольный интеллектуальный контроль процессов переработки информации [4]; фактор пола опосредует связь когнитивных и стилевых (метакогнитивных) свойств интеллекта по отношению к реальным интеллектуальным достижениям [5]. Основной задачей настоящего исследования было определение симптомокомплекса интеллектуальных качеств, необходимых для успешной интеллектуальной самореализации в студентов технических специальностей как целостную систему когнитивных и стилевых (метакогнитивных) свойств интеллекта. Для решения поставленной задачи был выбран метод регрессионного анализа, построены и проанализированы линейные регрессионные модели с несколькими переменными. В качестве прогнозируемой величины (зависимой переменной в регрессионной модели) введена переменная *uspex*, характеризующая наличие либо отсутствие у студентов реальных интеллектуальных достижений. Для построения моделей были использованы результаты экспериментального исследования, проведенного в двух технических университетах г. Томска (Томский политехнический университет и Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники).

Этапы построения регрессионной модели

Можно выделить шесть этапов построения регрессионных моделей: постановочный, априорный, этап параметризации, информационный, этапы идентификации и верификации модели.

Остановимся подробнее на каждом из этих этапов и рассмотрим проблемы, связанные с их реализацией.

1-й этап (постановочный). Формируется цель исследования, набор участвующих в модели переменных.

При выборе переменных необходимо теоретическое обоснование каждой переменной (при этом рекомендуется, чтобы число их было не очень большим и, как минимум, в несколько раз меньше числа наблюдений). Объясняющие переменные не должны быть связаны функциональной или тесной корреляционной зависимостью, так как это может привести к невозможности оценки параметров модели или к получению неустойчивых, не имеющим реального смысла оценок, т.е. к явлению мультиколлинеарности.

2-й этап (априорный). Проводится анализ сущности изучаемого объекта, формирование и формализация априорной (известной до начала моделирования) информации.

3-й этап (параметризация). Осуществляет непосредственно моделирование, т.е. выбор общего вида модели, выявление входящих в нее связей.

Основная задача, решаемая на этом этапе, выбор вида функции, в частности, возможность использования линейной модели как наиболее простой и надежной. Весьма важной проблемой на этом (и предыдущих) этапе моделирования является проблема спецификации модели, в частности: выражение в математической форме обнаруженных связей и соотношений; установление состава экзогенных и эндогенных переменных, в том числе лаговых; формулировка исходных предпосылок и ограничений модели. От того, насколько удачно решена проблема спецификации модели, в значительной степени зависит успех всего моделирования.

4-й этап (информационный). Осуществляется сбор необходимой статистической информации. $(X_{i1},X_{i2},...X_{ip};\ Y_{i1},\ Y_{i2},...,Y_{iq})$, $i=1,...,n$.

Здесь могут быть наблюдения, полученные как с участием исследователя, так и без его участия (в условиях *активного* или *пассивного* эксперимента).

5-й этап (идентификация модели). Осуществляется статистический анализ модели и оценка ее параметров.

6-й этап (верификация модели). Проводится проверка истинности, адекватности модели. Выясняется, насколько удачно решены проблемы спецификации, идентификации и идентифицируемости модели, какова точность расчетов по данной модели, в конечном счете, насколько соответствует построенная модель моделируемому реальному объекту или процессу.

Постановочный и априорный этапы. Параметризация модели

Основная цель исследования – получение модели, отражающих зависимость успешной интеллектуальной самореализации студентов технических специальностей от когнитивных и стилевых (метакогнитивных) свойств интеллекта; определение (на основе анализа построенной модели) симптомокомплекса интеллектуальных качеств, необходимых для успешной интеллектуальной самореализации.

С позиции регрессионного анализа критериальный показатель y рассматривается как зависимая переменная, которая выражается функцией

"независимых" признаков $x_1,x_2,...,x_m$. В нашем случае, в качестве зависимой переменной введена переменная *uspex*, характеризующая наличие либо отсутствие у студентов реальных интеллектуальных достижений. Набор независимых переменных $x_1,x_2,...,x_m$ сформирован на основе результатов наших предыдущих исследований [4–7]. Использовались показатели интеллектуальной шкалы Амтхауэра, характеризующие уровень сформированности когнитивных способностей (успешность выполнения субтеста 2 «Способность к понятийной абстракции»; успешность выполнения субтеста 6 «Способность к индуктивному мышлению при выявлении закономерности в числовых рядах»; уровень общего психометрического интеллекта в виде коэффициента *IQ*). Кроме того, в набор независимых переменных $x_1,x_2,...,x_m$ вошли показатели некоторых методик для диагностики стилевых свойств интеллектуальной деятельности (методика «Включенные фигуры» Уиткина для измерения когнитивного стиля полезависимость/поленезависимость; методика «Сравнение похожих рисунков» Кагана для измерения когнитивного стиля импульсивность/рефлективность; методика «Словесно-цветовая интерференция» Струпа для измерения когнитивного стиля ригидность/гибкость познавательного контроля. Полный набор переменных представлен в табл. 1.

Таблица 1. *Описание и обозначение используемых переменных*

Обозначение	Описание
uspex	Классификационный признак
pol	Пол (0 – мужской; 1 – женский)
iq	Показатель общего интеллектуального развития *IQ*
iqv	Способность к понятийной абстракции
idt	Способность к индуктивному мышлению
t1	Время чтения 1-ой карты в тесте Струпа
t2	Время чтения 2-ой карты в тесте Струпа
t3	Время чтения 3-ей карты в тесте Струпа
if	Интерференция сенсорно-перцептивных и вербальных функций (*t*3/*t*2)
int	Интеграция сенсорно-перцептивных и вербальных функций (*t*2–*t*1)
time	Время принятия решения в тесте Кагана
er	Рефлективность (количество ошибок в тесте Кагана)
uit1	Время выполнения 1-ой половины теста Уиткина
uit2	Время выполнения 2-ой половины теста Уиткина
nk2	Имплицитная обучаемость (тест Уиткина)

Как видно из табл. 1, все выбранные независимые переменные (за исключением переменной *pol*) измерены в шкале отношений (количественные признаки). Необходимость введения переменной *pol* обусловлена существующими гендерными различиями в развитии интеллектуальной компетентности [2, 4, 5]. Переменная *pol* измерена в номинальной шкале, это дихотомическая переменная, которая принимают всего два значения: «0» для женщин и «1» для мужчин. С другой стороны переменная *pol* представляет собой так называемую "фиктивную" переменную [8], введение которых в регрессионную модель позволяет оценивать влияние значений количественных переменных и уровней качественных признаков с помощью одного уравнения регрессии.

С учетом проведенного ранее анализа взаимосвязей между переменными взаимосвязей между переменными $x_1,x_2,...,x_m$, для решения поставленной задачи была выбрана линейная регрессионная модель вида

$$y_x=a+b_1x_1+b_2x_2+...+b_mx_m, \quad (1)$$

где $a,b_1,b_2,...,b_m$ – параметры уравнения, определяющего соотношение между аргументами $x_1,x_2,x_3,...,x_m$ и функцией y_x.

Информационный этап моделирования. Идентификация и верификация модели

Сбор экспериментальных данных проводился на базе Томского политехнического университета и Томского университета систем управления и радиоэлектроники. В качестве испытуемых выступали студенты старших курсов в возрасте от 21 до 27 лет (всего 127 человек). К числу интеллектуально компетентных лиц были отнесены студен6ты, которые имели реальные достижения в интеллектуальной деятельности в виде участия в научных программах факультетского либо университетского уровня; выступление на Всероссийских и международных конференциях; научные публикации; международные стажировки, наличие именных стипендий. Перечисленные выше критерии использовались в сочетании с экспертными оценками преподавателей, т.е. проводилось анкетирование экспертов с целью формирования группы испытуемых с реальными интеллектуальными достижениями (группа «успешных» составила 39 чел.). В контрольную группу вошли успешно обучающиеся студенты старших курсов тех же вузов и факультетов (88 чел.).

Для нахождения параметров $a,b_1,b_2,...,b_m$ регрессионной модели (1) использовался метод наименьших квадратов. Требование метода наименьших квадратов заключается в том, что теоретические точки линии регрессии ух должны быть получены таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений от этих точек для эмпирических наблюдений y_i была минимальной, т.е.

$$Q=\Sigma(y_i-y_x)^2=Q_{\min}.$$

Все расчеты проводились на базе прикладного статистического пакета Statgraphics Plus for Windows [9]. Полученные результаты приведены в табл. 2–5. Было построено 4 вида моделей: 1) общая модель без учета гендерного фактора (табл. 2); 2) модель развития интеллектуальной компетентности для мужчин (табл. 3); 3) модель развития интеллектуальной компетентности для женщин (табл. 4); 4) общая модель с учетом гендерного фактора (табл. 5).

Как видно из таблиц 2–5, в модели не включена переменная *T*3, поскольку было установлено, что она является линейной комбинацией других переменных.

Таблица 2. *Параметры регрессионной модели, построенной для общей выборки*

Наименование переменных	Значения коэффициентов	Стандартная ошибка	*t*-статистика	Уровень значимости
const	0,51	3,09	0,16	0,86
T2	0,02	0,05	0,38	0,70
T1	−0,06	0,08	−0,79	0,43
Er	−0,01	0,01	−1,26	0,22
If	−0,004	0,007	−0,57	0,57
Int	−0,99	2,19	−0,45	0,65
Iq	0,009	0,01	0,74	0,46
Iqt	−0,004	0,008	−0,55	0,58
Iqv	0,01	0,009	1,99	0,05
Nk2	0,72	0,39	1,83	0,08
Time	−0,009	0,007	−1,33	0,19
Uit1	−0,02	0,01	−1,33	0,19
Uit2	0,04	0,02	2,10	0,04
Uspex = 0.51 + 0.02*t2* − 0.06 *t1*−0.01*er* − 0.004 *if* − 0.99 *int* +0.009 *iq* − 0.004 *iqt* + 0.01 *iqv* + 0.72 *nk2* − 0.009 *time* − 0.02 *uitl* + 0.04 *uit2*				

Таблица 3. *Параметры регрессионной модели, построенной для выборки мужчин*

Наименование переменных	Значения коэффициентов	Стандартная ошибка	*t*-статистика	Уровень значимости
const	−8,61	5,94	−1,44	0,18
T2	−0,07	0,10	−0,71	0,49
T1	0,09	0,15	0,60	0,56
Er	−0,08	0,04	−1,86	0,09
If	−0,005	0,009	−0,53	0,60
Int	2,80	4,49	0,62	0,55
Iq	0,03	0,02	1,46	0,18
Iqt	0,03	0,02	1,73	0,12
Iqv	−0,01	0,01	−0,80	0,44
Nk2	0,62	0,63	0,99	0,35
Time	−0,008	0,009	−0,91	0,38
Uit1	−0,01	0,03	−0,46	0,65
Uit2	0,09	0,06	1,31	0,22
Uspex=−8.61-0.07 *t2*+0.09 *t1*−0.08 *er*−0.005 *if*+2.80 *int*+0.03 *iq*+0.03 *iqt*−0.01 *iqv*+0.62 *nk2*−0.008 *time*−0.01 *uitl*+0.09 *uit2*				

Таблица 4. *Параметры регрессионной модели, построенной для выборки женщин*

Наименование переменных	Значения коэффициентов	Стандартная ошибка	*t*-статистика	Уровень значимости
const	−3,31	2,24	−1,47	0,14
T2	−0,01	0,03	−0,29	0,76
T1	0,009	0,05	0,17	0,86
Er	−0,01	0,01	−1,48	0,14
If	−0,0005	0,004	−0,12	0,90
Int	0,41	1,57	0,26	0,79
Iq	0,01	0,009	1,39	0,16
Iqt	0,007	0,006	1,19	0,23
Iqv	0,008	0,007	1,10	0,27
Nk2	0,42	0,25	1,64	0,10
Time	−0,002	0,004	−0,60	0,54
Uit1	−0,01	0,01	−0,81	0,41
Uit2	0,02	0,01	1,63	0,11
Uspex=−3,31−0,01 *t2*+0,009 *t1*−0,01 *er*−0,0005 *if*+0,41 *int*+0,01 *iq*+0,007 *iqt*+0,008 *iqv*+0,42 *nk2*−0,002 *time*−0,01 *uit1*+0,02 *uit2*				

Таблица 5. *Параметры регрессионной модели, построенной для общей выборки (введение в модель фиктивной переменной pol)*

Наименование переменных	Значения коэффициентов	Стандартная ошибка	*t*-статистика	Уровень значимости
const	−2,62	0,75	−3,50	0,001
Er	−0,01	0,01	−1,20	0,23
If	−0,002	0,003	−0,55	0,58
Int	−0,01	0,19	−0,06	0,95
Iq	0,01	0,009	1,59	0,11
Iqt	0,006	0,005	1,10	0,27
Iqv	0,007	0,007	0,98	0,32
Nk2	0,51	0,21	2,35	0,02
pol	−0,24	0,12	−1,95	0,05
time	−0,004	0,004	−0,97	0,33
Uit1	−0,01	0,01	−0,75	0,45
Uit2	0,02	0,01	1,89	0,06
Uspex=−2,62−0,01*er*−0,002*if*−0,01*int*+0,01*iq*+0,006*iqt*+ 0,007*iqv*+0,51*nk2*−0,24*pol*−0,004*time*−0,01*uit1*+0,02*uit2*				

Анализ результатов

Основными показателями качества регрессионной модели являются: остаточная сумма квадратов (Δ^2), несмещенная оценка дисперсии ошибки (s^2_ε), оценка дисперсии прогнозируемой переменной (σ^2_y), коэффициент детерминации (R^2), оценки дисперсии коэффициентов регрессии (s_{bi}, s_a).

Коэффициент детерминации R^2 показывает долю общего разброса у относительного среднего, объясняемую регрессией. Обычно, величину R^2 измеряют не в долях единицы, а в процентах. Чем ближе значение R^2 к ста процентам, тем лучше подобранная модель описывает данные эксперимента. Для проверки гипотезы о равенстве коэффициентов b_i нулю использовалось F-отношение, вычисляется как частное от деления средних квадратов относительно модели на средние квадраты ошибок. С помощью этой статистики проверяется гипотеза H_0: $b_1=b_2=...=b_m=0$, т. е. гипотеза о том, что совокупность признаков $x_1,x_2,...,x_m$ не улучшают описание критериального показателя по сравнению с тривиальным описанием $y_i=y$. В табл. 6 приведены значения основных показателей качества (коэффициент детерминации, F-отношение и соответствующий уровень значимости) для всех четырех регрессионных моделей.

Таблица 6. *Показатели качества регрессионных моделей*

Модель	Коэффициент детерминации, %	F-статистика	Уровень значимости
Общая без учета гендерного фактора	49,86	3,4	0,0017
Развития интеллектуальной компетентности у мужчин	66,55	2,31	0,05
Развития интеллектуальной компетентности у женщин	76,36	2,21	0,08
Общая с учетом гендерного фактора	63,07	3,77	0,0006

В регрессионном анализе проверяется и другая гипотеза: о равенстве нулю каждого из коэффициентов регрессии в отдельности H_0: b_i=0 с использованием t-критерия (значения t-статистики и уровня значимости приведены в табл. 2–5).

Таким образом, с точки зрения показателей качества регрессионной модели, самой «плохой» оказалась общая модель без учета гендерного фактора.

Анализ полученных регрессионных моделей позволил также выявить наиболее информативные признаки, т.е. переменные, которые вносят наибольший вклад в формирование зависимой переменной *Uspex*. Во всех четырех моделях в число первых пяти наиболее информативных признаков вошли ***int*** (интеграция сенсорно-перцептивных и вербальных функций); ***uit1*** (время выполнения 1-ой половины теста Уиткина); ***uit2*** (время выполнения 2-ой половины теста Уиткина); ***t1*** (время чтения 1-ой карты в тесте Струпа); ***nk2*** (имплицитная обучаемость). Все эти переменные являются характеристиками когнитивных стилей, что экспериментально подтвердило теоретические положения из [2] о том, что развитие интеллектуальной компетентности предполагает сформированность метакогнитивных процессов, в том числе способностей планировать, оценивать, контролировать, отслеживать процессы переработки информации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 03-06-80128.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трост Г. Возможность предсказания выдающихся успехов в школе, в университете, на работе // Иностранная психология. – 1999. – № 11. – С. 19–27.
2. Холодная М.А. Психология интеллекта: Парадоксы исследования. – 2 изд., перераб и доп. – СПб.: Питер, 2002. – 290 с.
3. Берестнева О.Г., Марухина О.В. Прогнозирование успешности обучения студентов на основе неоднородной последовательной процедуры распознавания // Компьютерное моделирование 2003: Труды 4 Междунар. научно-техн. конф. – СПб.: Нестор, 2003. – С. 449–451.
4. Холодная М.А., Берестнева О.Г., Кострикина И.С. Когнитивные и метакогнитивные предпосылки интеллектуальной компетентности в научно-технической деятельности // Психологический журнал. – 2005. – № 1. – С. 54–59.
5. Берестнева О.Г., Марухина О.В., Кирядшова О.Н. Исследование психологических особенностей успешной интеллектуальной самореализации студентов старших курсов // Психолого-педагогические исследования в системе образования: Труды 1 Всеросс. научно-практ. конф. Ч. 3. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2003. – С. 263–265.
6. Берестнева О.Г., Муратова Е.А., Кострикина И.С. Применение современных информационных технологий в задачах психологии интеллекта // Интеллектуальные системы: Труды Междунар. научно-техн. конф. IEEE AIS'03 CAD–2003. «Интеллектуальные САПР». – М.: Физматлит, 2003. – Т. 2.– С. 236–239.
7. Берестнева О.Г., Муратова Е.А., Янковская А. Е. Анализ структуры многомерных данных методом локальной геометрии // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 3. – С. 19–23.
8. Орлов А.И. Эконометрика: Учебное пособие / А.И. Орлов. – М.: Экзамен, 2002. – 576 с.
9. Дюк В.А. Обработка данных на ПК в примерах: Статистические расчеты. Построение графиков и диаграмм. Анализ данных. – СПб.: Питер, 1997. – 240 с.